

Parçacık Hızlandırıcıları ve Algıçları Yerel Altyapı ve Ar-Ge Çalıştayı

03.12.2023

Parçacık Hızlandırıcılarının Manyetik Alan Ölçümleri İçin Robotik Kol Tasarımı ve Üretimi

T.I.M.A.R.

TUĞRUL GÖL

HİLAL KOÇ

Atabek Batuhan Bilgiç - Efe Bulut - Ahmet Affan Köksal - Beyda Saray - Zeynep Arslan - Kerem Akçakaya



Tuğrul GÖL

İstinye Üniversitesi, 2018-2023

Lisans, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

- Enerji ve Mühendislik Kulübü, Kurucu Başkan, 2022
- "1 MeV Siklotron'un Manyetik Alan Ölçümleri İçin Robotik Kol Tasarımı ve Üretimi – 2023, TÜBİTAK 2209-A
- "1 MeV Siklotron'un Manyetik Alan Simülasyonları ve Ölçümleri" – 2023, İstinye Üniversitesi (Lisans bitirme tezi)

İstinye Üniversitesi, 2023-Halen

Yüksek Lisans, Bilgisayar Mühendisliği

Hilal KOÇ

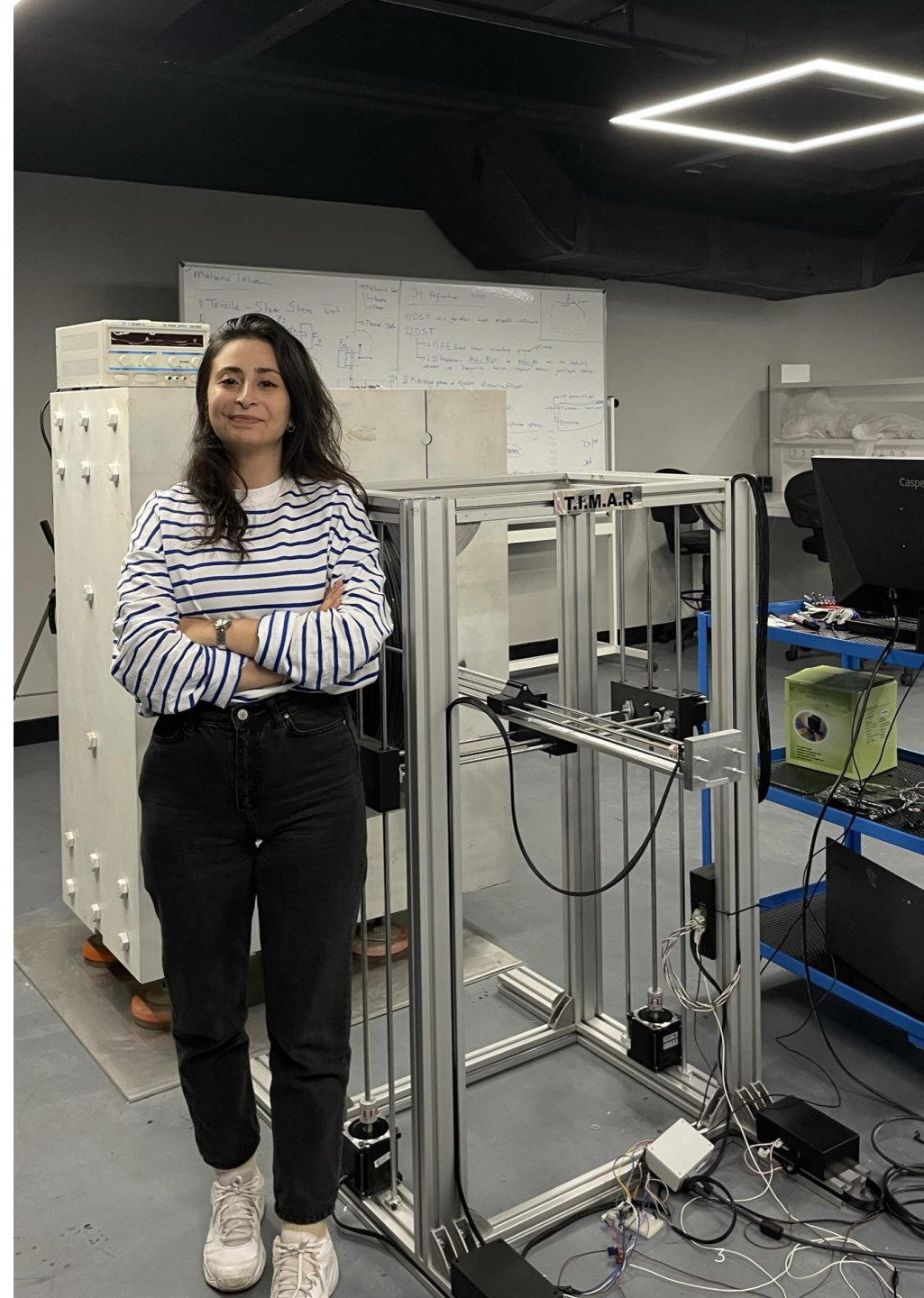
İstinye Üniversitesi, 2018-2023

Lisans, Elektrik-Elektronik Mühendisliği

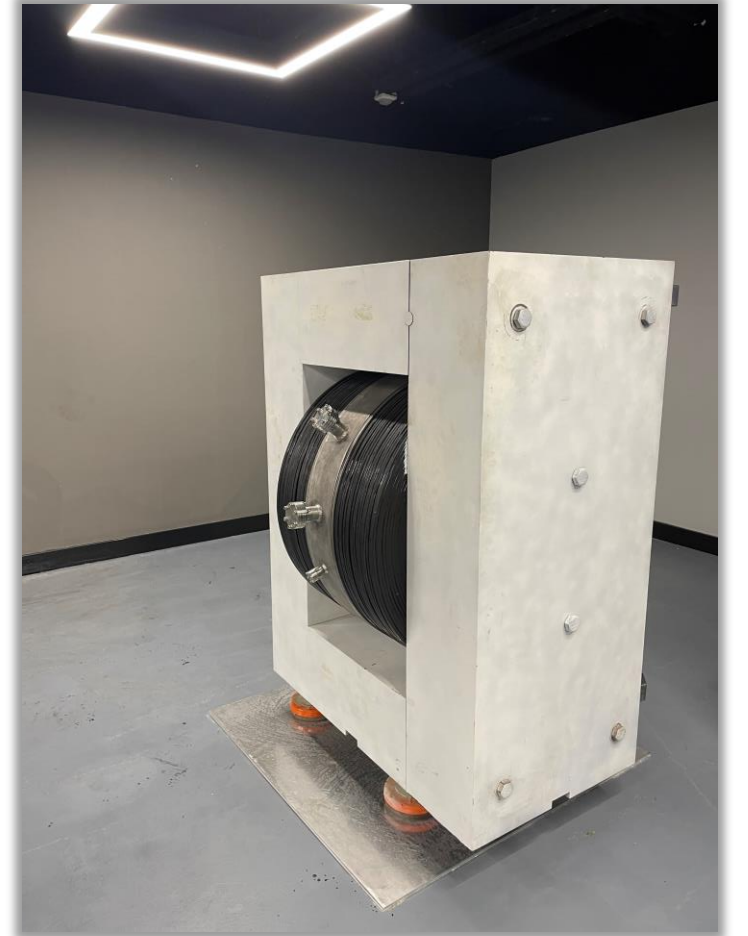
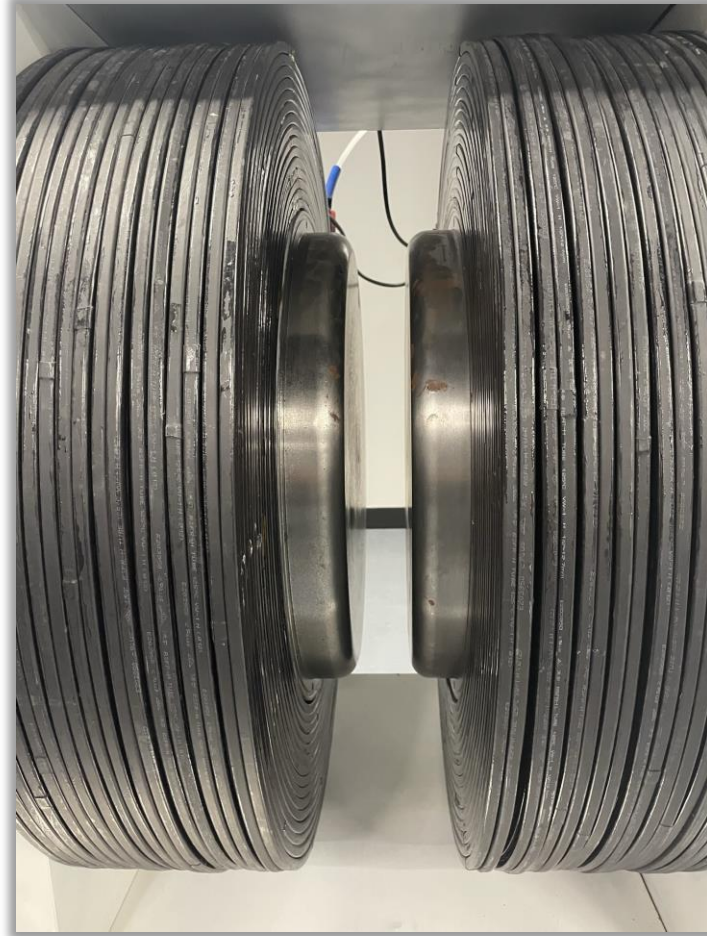
- "1 MeV Siklotron'un Manyetik Alan Ölçümleri İçin Robotik Kol Tasarımı ve Üretimi – 2023, TÜBİTAK 2209-A / Proje Yürütücüsü
- "1 MeV Siklotron'un Robotik Kol ile Manyetik Alan Ölçümleri" – 2023, İstinye Üniversitesi (Lisans bitirme tezi)

İstinye Üniversitesi, 2023-Halen

Yüksek Lisans, Bilgisayar Mühendisliği



1 MeV Siklotron İçin Tasarlanmış H-Magnet



İstinye Üniversitesi Parçacık Fizięi Enstrümantasyon Laboratuvarı



Proje Ekibimiz

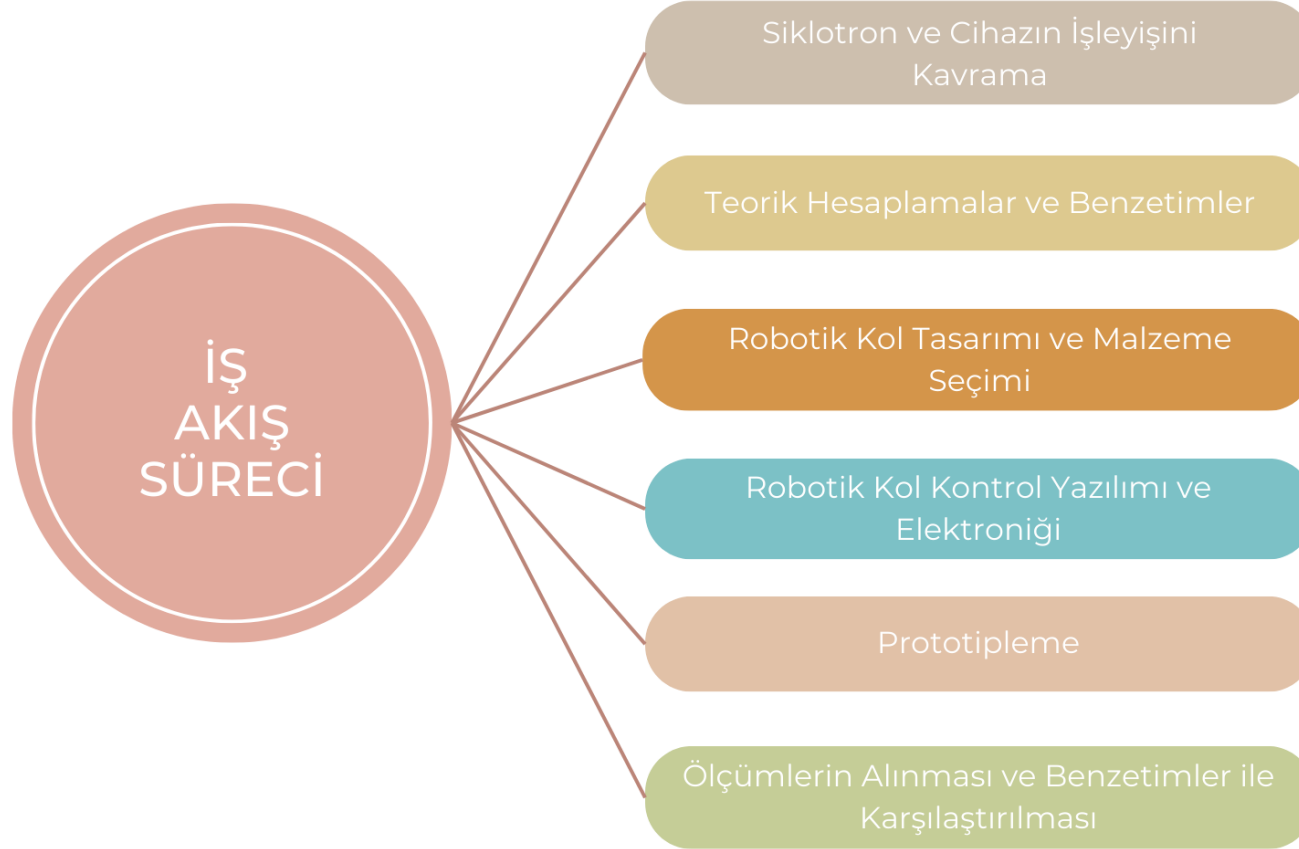


Proje Ekibimiz ve Danışman Hocamız Prof. Serkant Ali Çetin ile CERN ATLAS Deneyi İş Birliği Lansmanında

İstinye Üniversitesi CERN ATLAS Deneyi İş Birliği Lansmanı

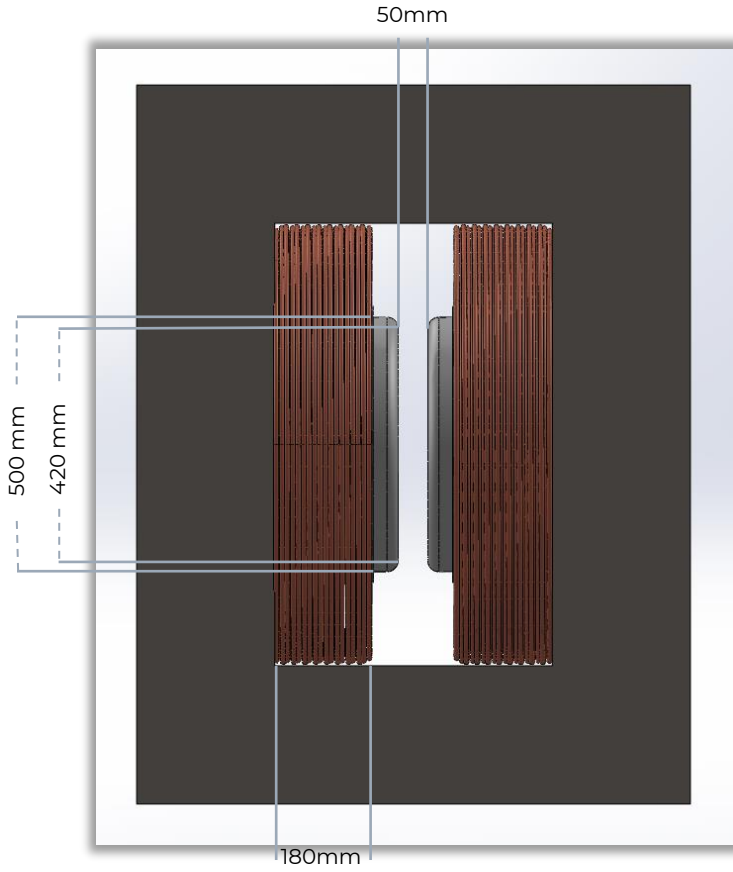


CERN Araştırma Direktörü Joachim Mnich ve CERN ATLAS Deney Başkanı Andreas Hoecker'ın İstinye Üniversitesi ziyareti sırasında projemiz hakkında bilgilendirme yapılırken



Benzetim Çalışmaları

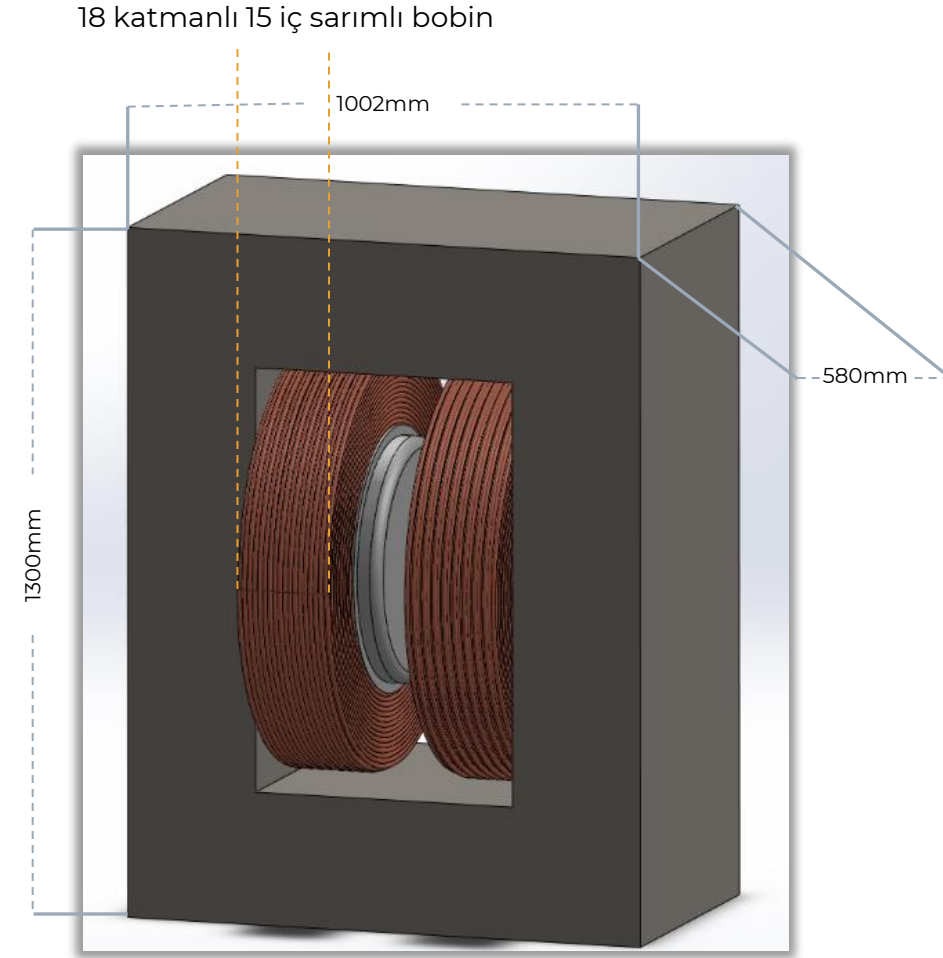
SolidWorks



Kablo Kalınlığı $\approx 10\text{mm}$

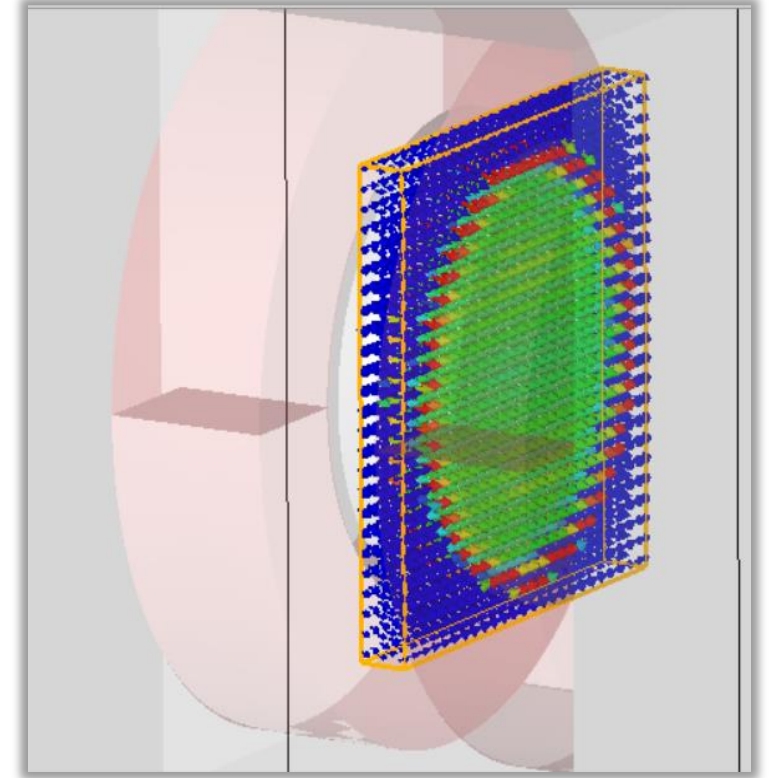
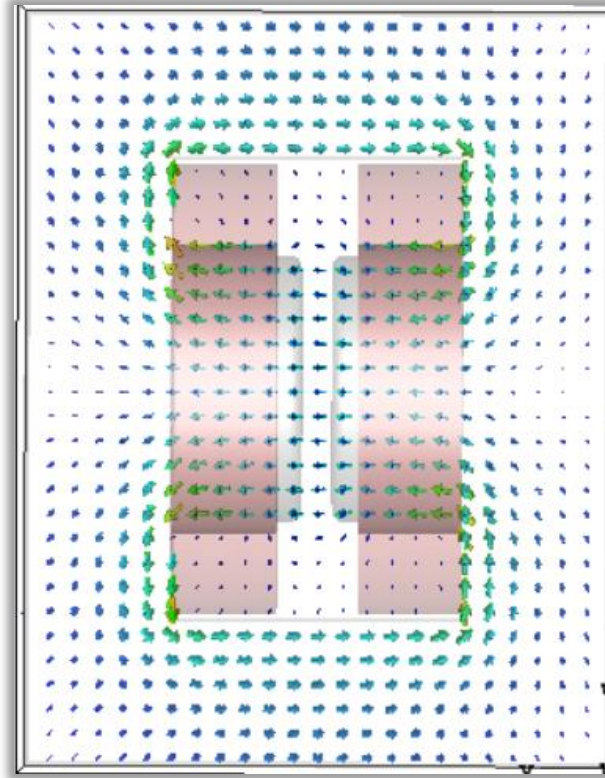
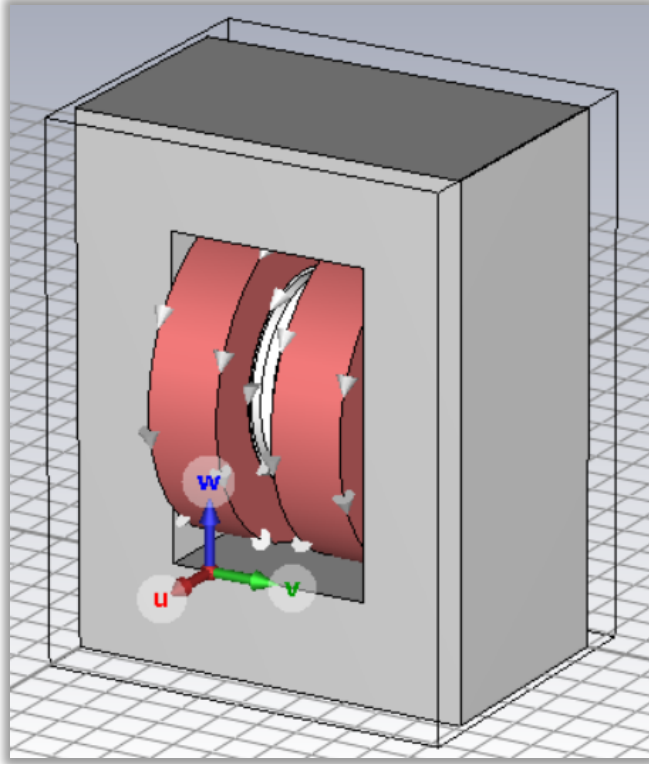


Toplam Sarım Sayısı = 540



Benzetim Çalışmaları

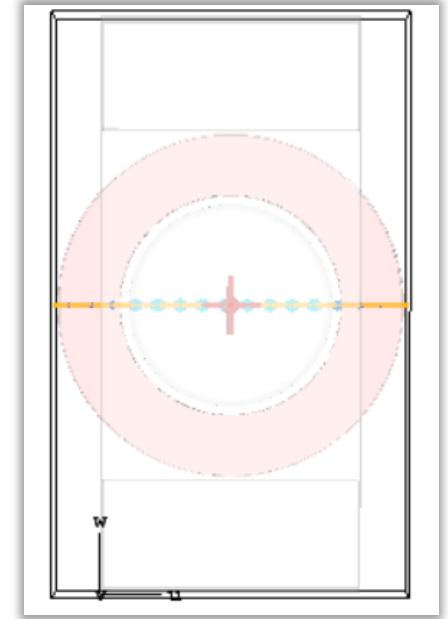
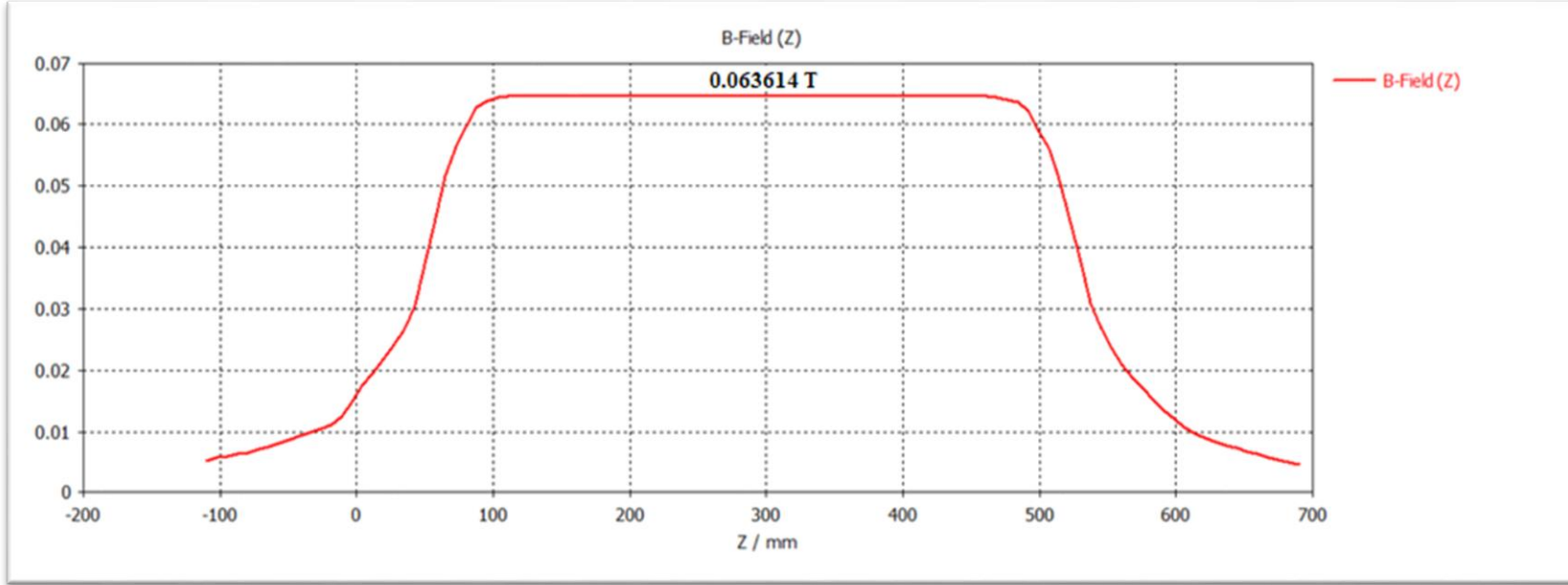
CST Studio



Benzetim çalışmalarında $I = 5$ Amper değerinde akım değeri kullanılmıştır. Alınan sonuçlar H-Magnet tasarımının sabit manyetik alan üretebilirliğini göstermiştir.

Benzetim Çalışmaları

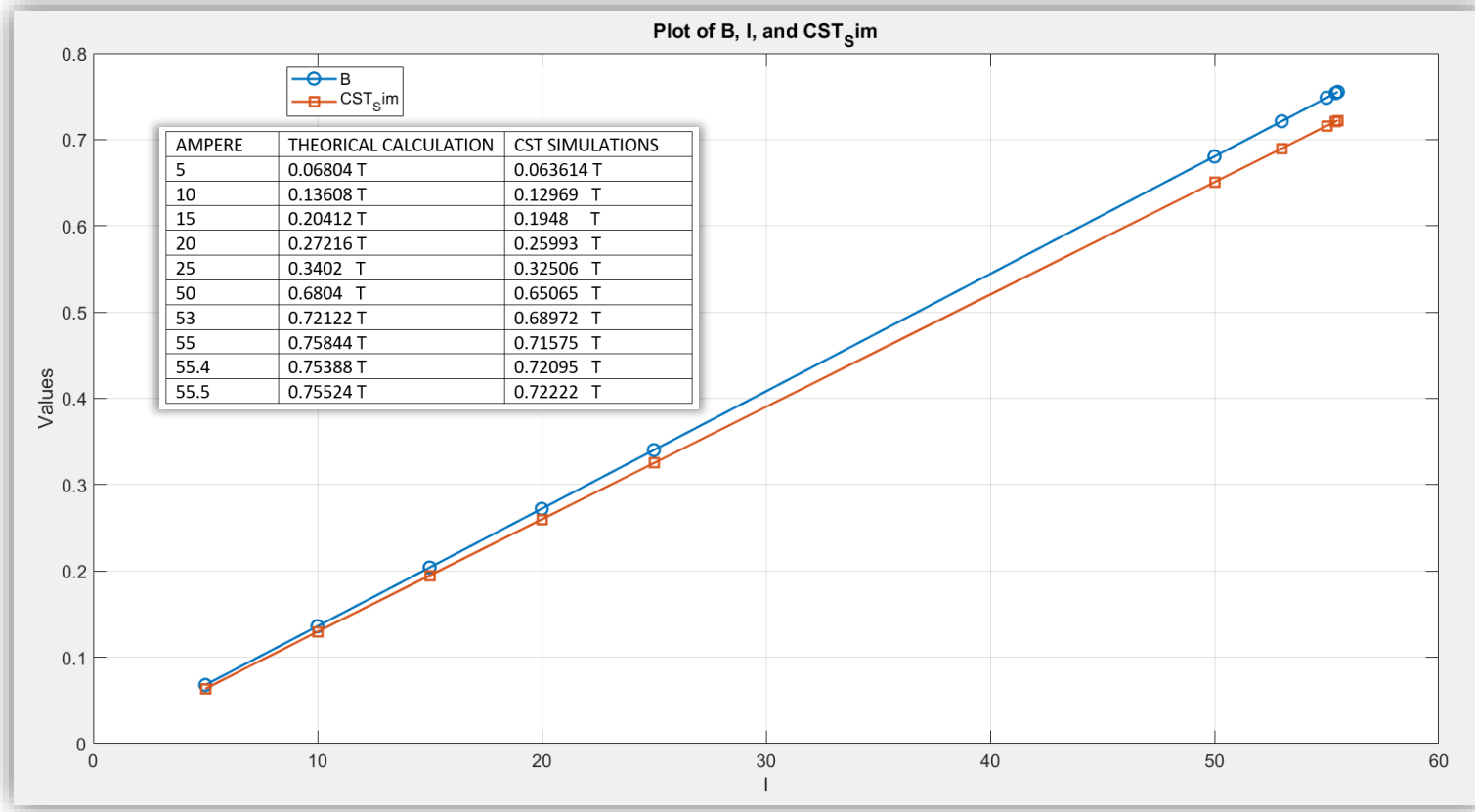
CST Studio



5 Amper akım değerinde H-Magnet merkezinde derinlik (Z-ekseni) boyunca uzanan manyetik alan değerlerinin grafiği.

Bu grafik, çekirdekler arasında tamamen homojen bir manyetik alan olduğunu gösteriyor. Çekirdek çapından uzaklaştıkça manyetik alan değeri azalır ve köşelerde sıfıra yaklaşır.

Teorik Hesaplamalar ve Benzetim Karşılaştırmaları



Farklı akım değerlerinde teorik hesaplama sonuçlarının ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması

1. Teorik Hesaplamalar

1.1. 1 MeV Siklotron için Gereken Manyetik Alan

$$v = \frac{qBr}{m}$$
$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{v^2 B^2 r^2}{2m}$$
$$1 \text{ MeV} = \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2 B^2 (0.2 \text{ m})^2}{2 \times 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}$$
$$B = 0.72 \text{ T}$$

1.2. Paralel Mıknatısların Manyetik Alan Hesaplamaları

$$B = \frac{\mu_0 NI}{g}$$

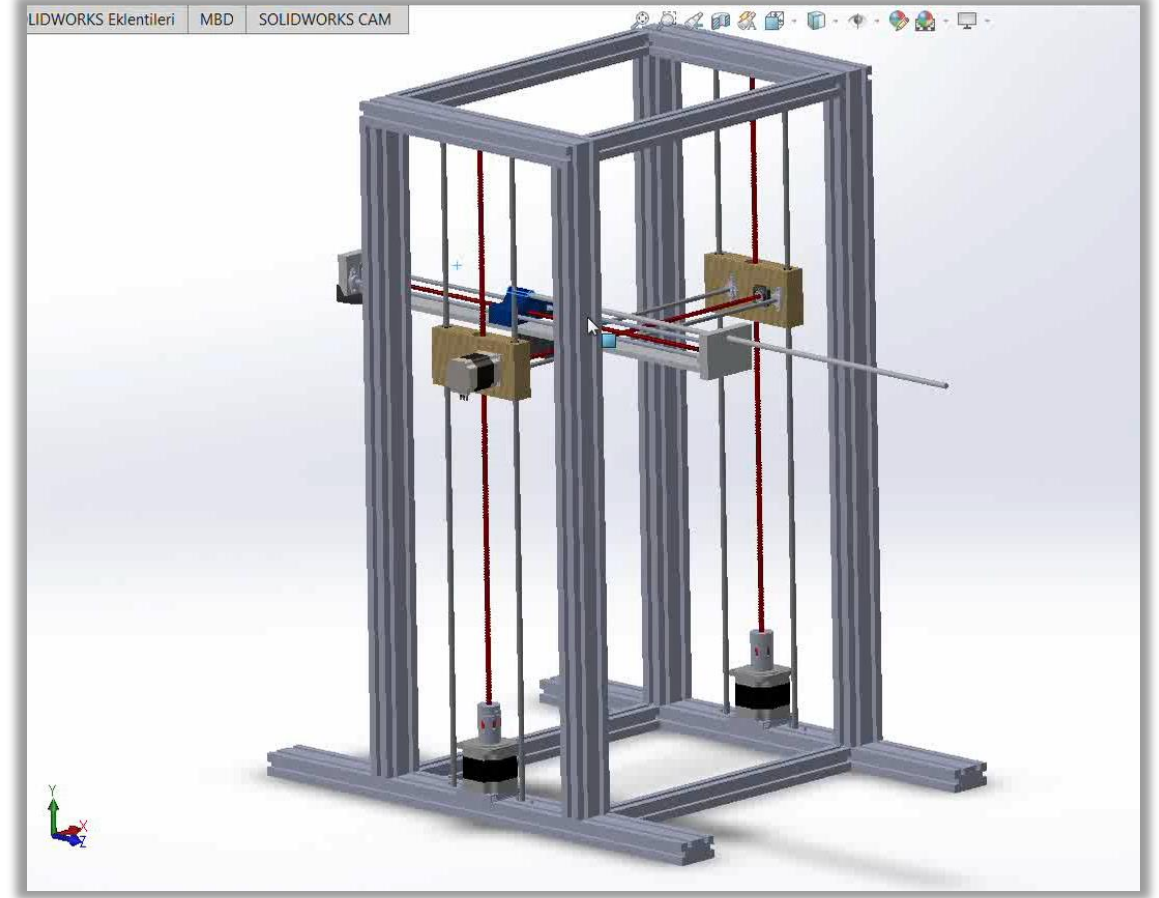
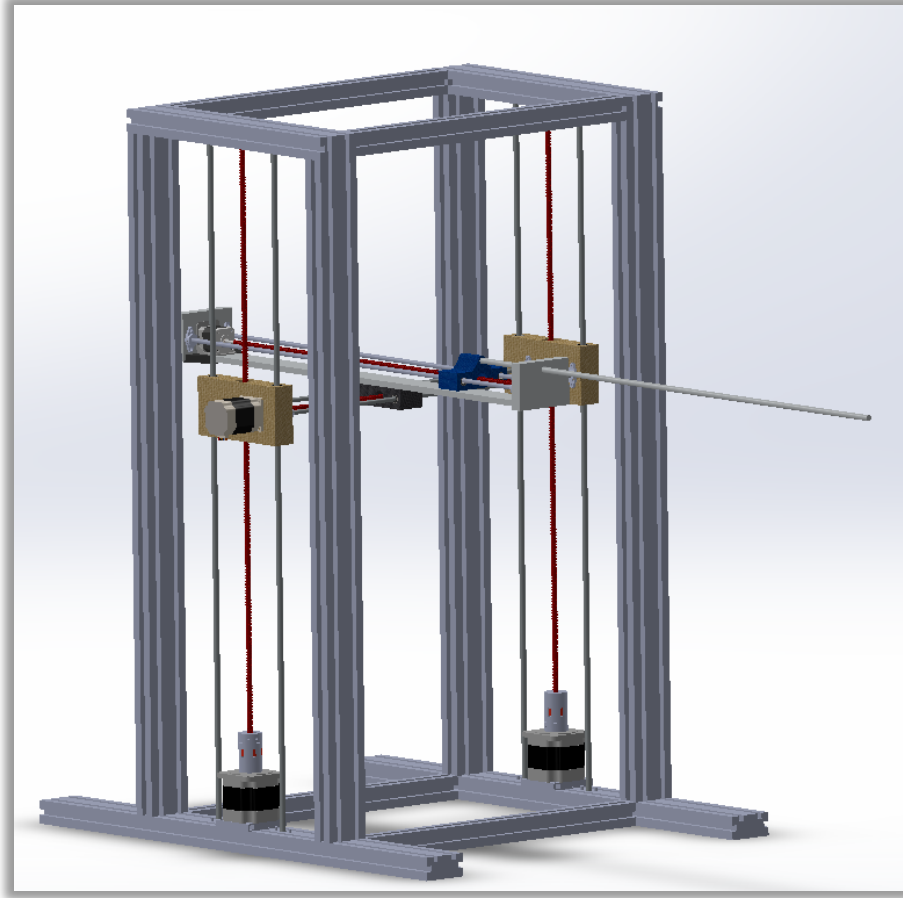
Eğer $B = 0,72 \text{ T}$, $\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$, $N = 540$ sarım ve $g = 0,05 \text{ m}$; ihtiyaç duyulan akım şu şekilde hesaplanabilir:

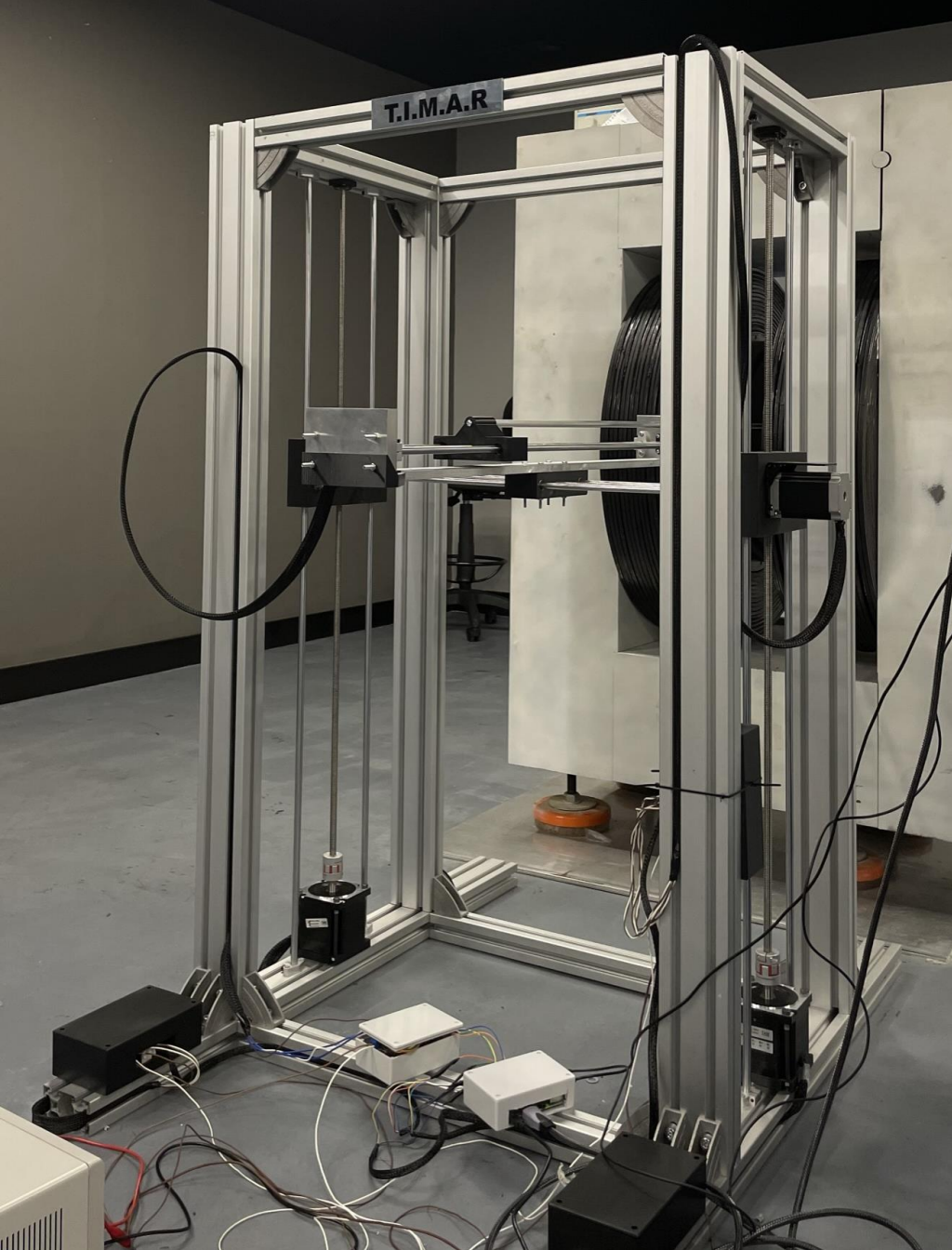
$$0.72 \text{ T} = \frac{1.26 \times 10^{-6} \times 540 \times I}{0.05}$$
$$I = 52.91 \text{ A}$$

Teorik Hesaplamalar

T.I.M.A.R.

Three-Dimensional Integrated Magnetic Arm Reader





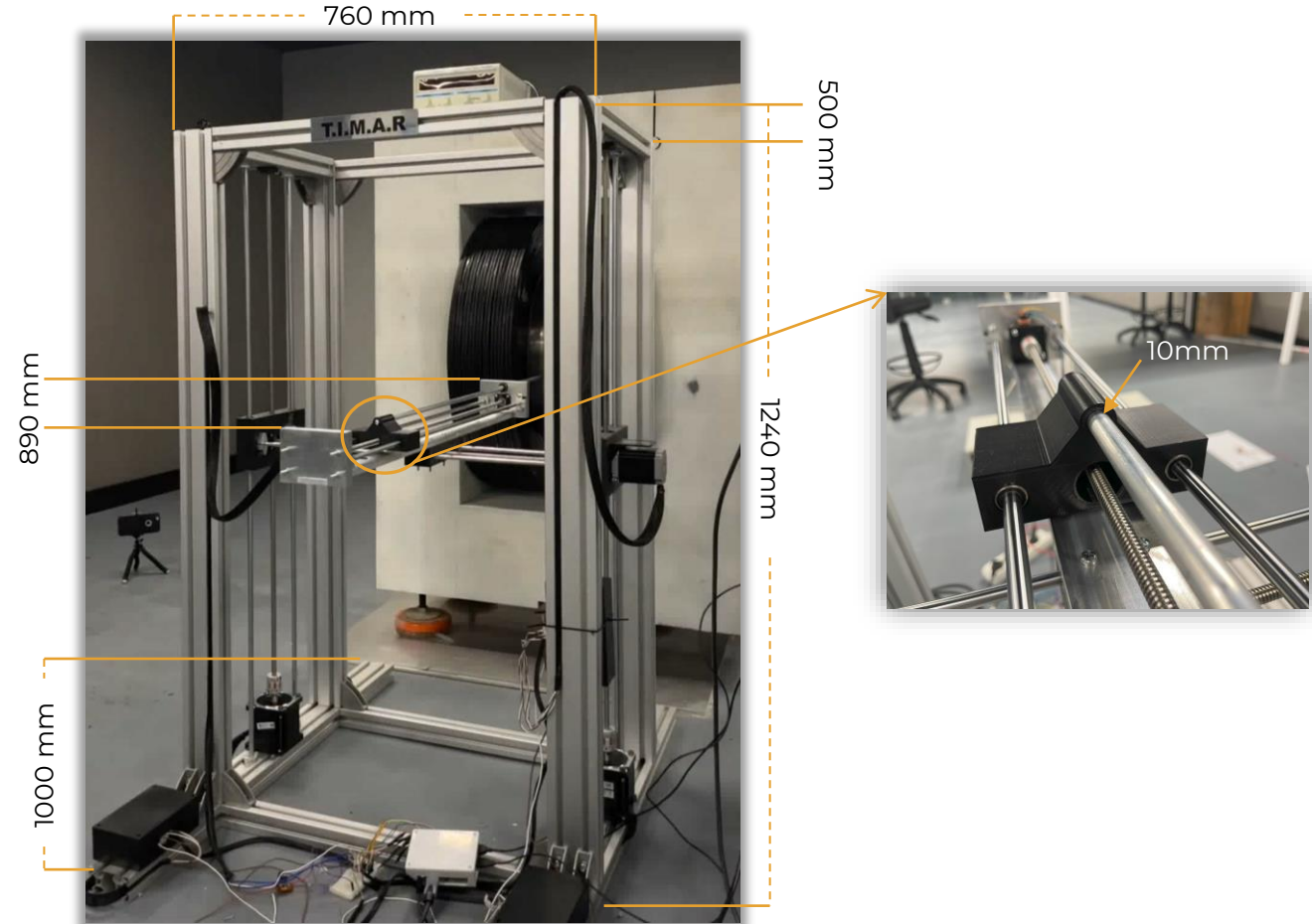
T.I.M.A.R.

Three-Dimensional Integrated Magnetic Arm Reader

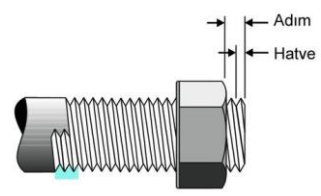
- Yerli Üretim
- Modüler Tasarım
- Kolay Kurulum
- Dayanıklı Malzeme
- 3 Eksende Hareket Kabiliyeti
- Alan Tarama Algoritması
- Geniş Ölçüm Alanı
 - 550x900x700mm ölçüm alanı kapasitesi
- Hassas Ölçüm
 - 10 μ m ölçüm aralığı yeteneği

T.I.M.A.R.

Three-Dimensional Integrated Magnetic Arm Reader

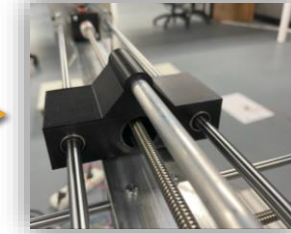


T.I.M.A.R.



Vidalı Miller

- Doğrusal Hareket
- Paslanmaz Malzeme
- 2 Hatve (1 turda 2mm)



Alüminyum

3D Baskı Parçalar

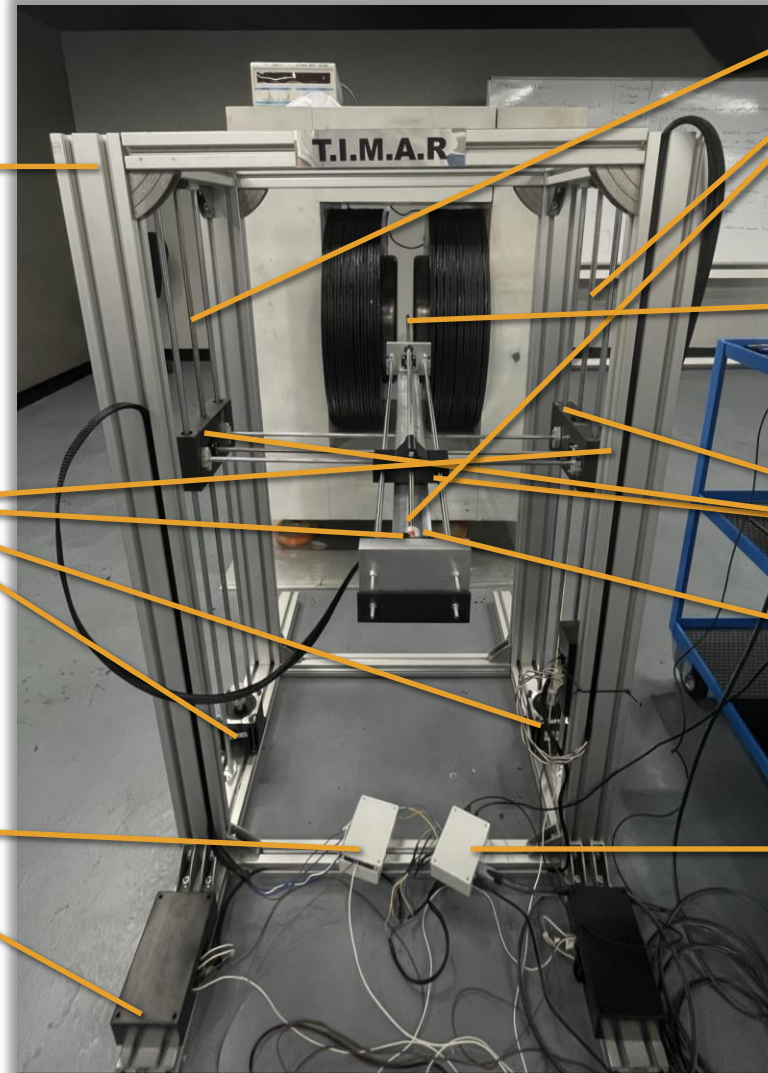
- %20 Doluluk Oranı
- 1.5mm Duvar Kalınlığı

Alüminyum Taban

- Yüksek Mukavemet-Dayanıklılık

Mikroişlemci

- Raspberry Pi 3 B+
- 1.4 GHz dört çekirdekli ARM Cortex-A53 işlemci
- 1 GB LPDDR2 SDRAM



Alüminyum Sigma Profil

- 6063 T5 Alüminyum
- Hafif Malzeme Yapısı
- Yüksek Mukavemet-Dayanıklılık
- Korozyon Direnci Yüksek
- Yorulma Dayanımı Yüksek

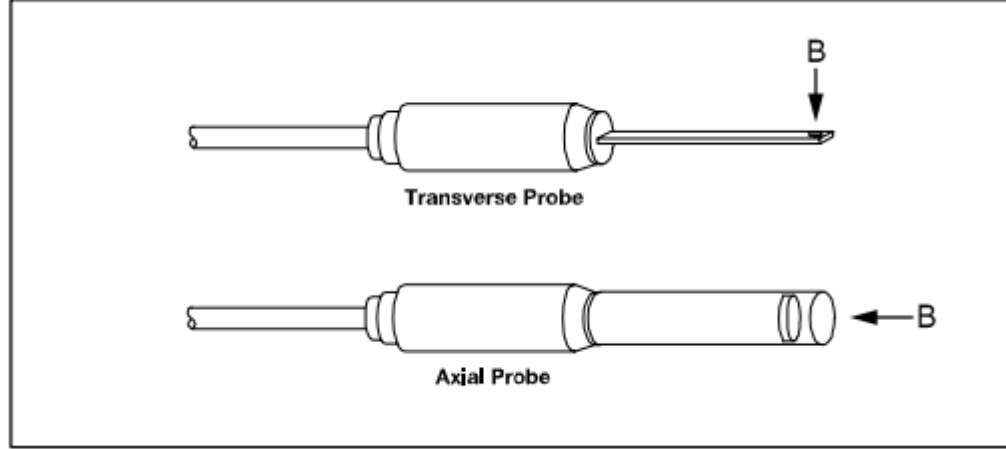
Step Motor

- Nema17, Nema23, Nema 34*
- Yüksek Hassasiyet
- Kolay Kontrol
- Yüksek Tork Gücü
- Hız ve Adım Kontrolü

Motor Sürücüler

- TB6600 (1 – 5 A) (24V)
- DRV8825 (1 – 2.5 A) (12V)

FW Bel 5180 Gaussmetre



STANDARD AXIAL PROBE

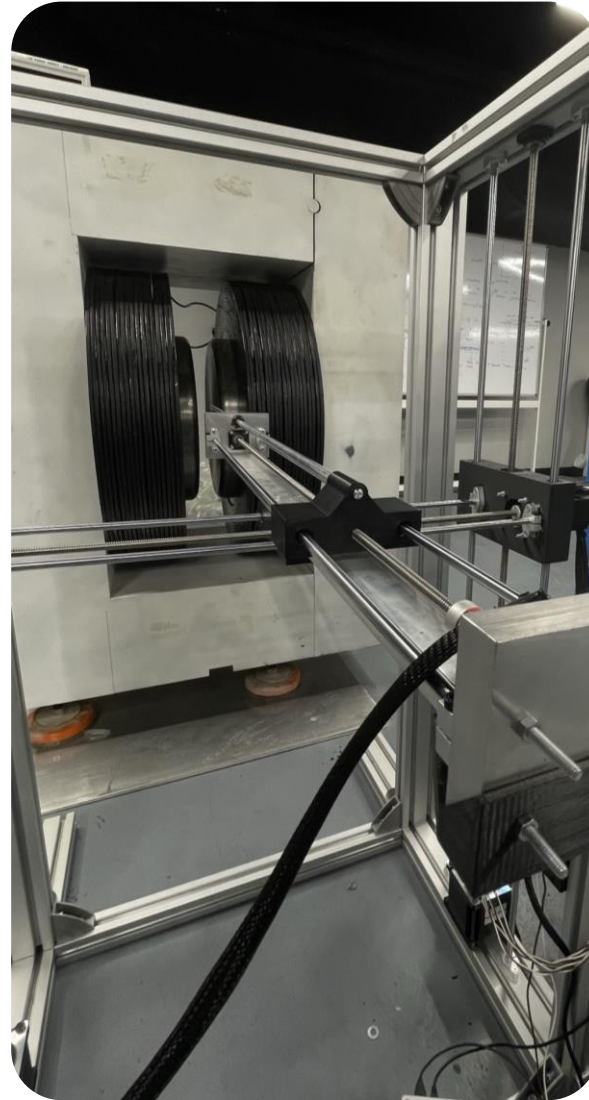
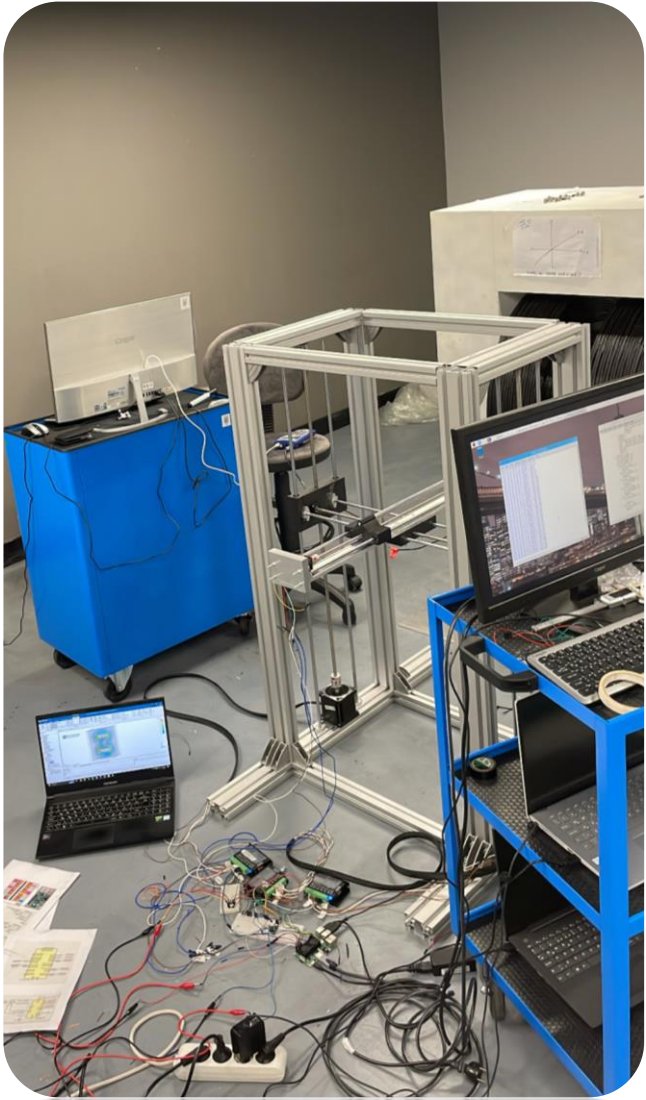
Model Number:	(5180): SAD18-1904 (5170): SAH17-1904
Flux Density Range:	(5180): 0 to ± 30 kG (0 to 3 T) (5170): 0 to ± 20 kG (0 to 2 T)
Corrected Linearity:	(5180): $\pm 0.5\%$ to ± 30 kG (5170): $\pm 1.0\%$ to ± 20 kG
Frequency Bandwidth:	(5180): 0 to 25 kHz (5170): 0 to 10 kHz

Offset change with Temperature: ± 300 mG / $^{\circ}\text{C}$ (typical)
Accuracy change with Temperature: -0.05% / $^{\circ}\text{C}$ (typical)
Operating Temperature Range: 0 to $+75^{\circ}\text{C}$ ($+32$ to $+167^{\circ}\text{F}$)
Storage Temperature Range: -25 to $+75^{\circ}\text{C}$ (-13 to $+167^{\circ}\text{F}$)

5180 gaussmeter probes
SAD18-1904 4" Axial Probe
SAD18-1902 2" Axial Probe

5170 gaussmeter probes
SAH17-1904 4" Axial Probe
SAH17-1902 2" Axial Probe

- Temel Doğruluk Oranı %1.1
- Analog Çıkış ve USB Bağlantı



Konum-Zaman Eşleştirme Algoritması

- **5180 Gaussmetre**'nin bağlı olduğu bilgisayar **Windows** işletim sistemine, T.I.M.A.R'ın bağlı olduğu bilgisayar **Ubuntu** işletim sistemine sahiptir.
- İki veri arasındaki milisaniyelik zaman farkları ölçümlerin kaydı sırasında hatalar doğurabilirdi.
- Yazdığımız algoritma sayesinde anlık konumlar ile ölçüm zamanlarını eşleştirerek kaydedilebildi.

Case 1

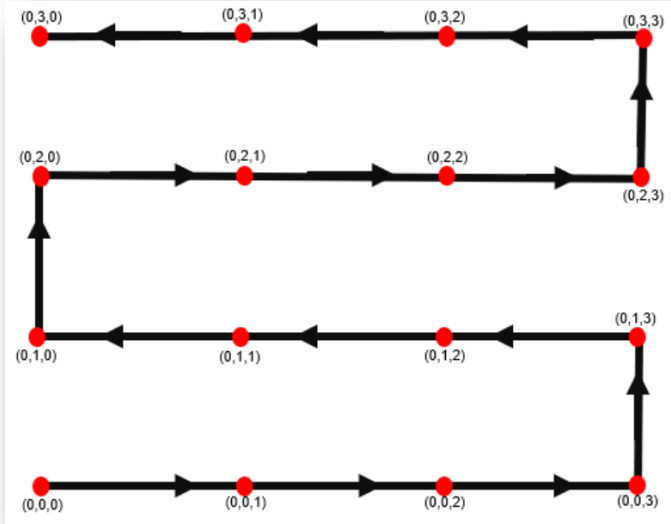
Motor	5180
15:04:21	15.04.21 1.32 mT

Case 2

Motor	5180
15.04.21	15.04.20 1.32 mT
	15.04.22 1.33 mT

Tarama Algoritmasının Tasarımı

Alan Tarama



```
1: Scan whole Cyclotron
2: Go to certain point
Enter your choice:1

Enter size of X in mm
20

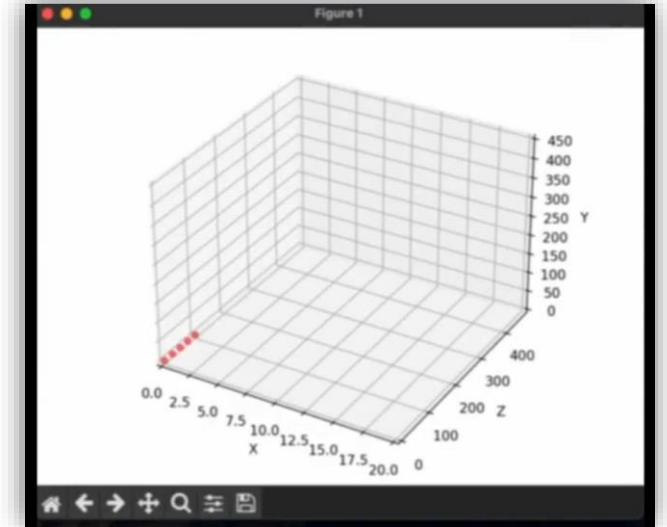
Enter size of Y in mm
450

Enter size of Z in mm
475

Enter how many mm do you want to make a measurment for X edge
5

Enter how many mm do you want to make a measurment for Y edge
75

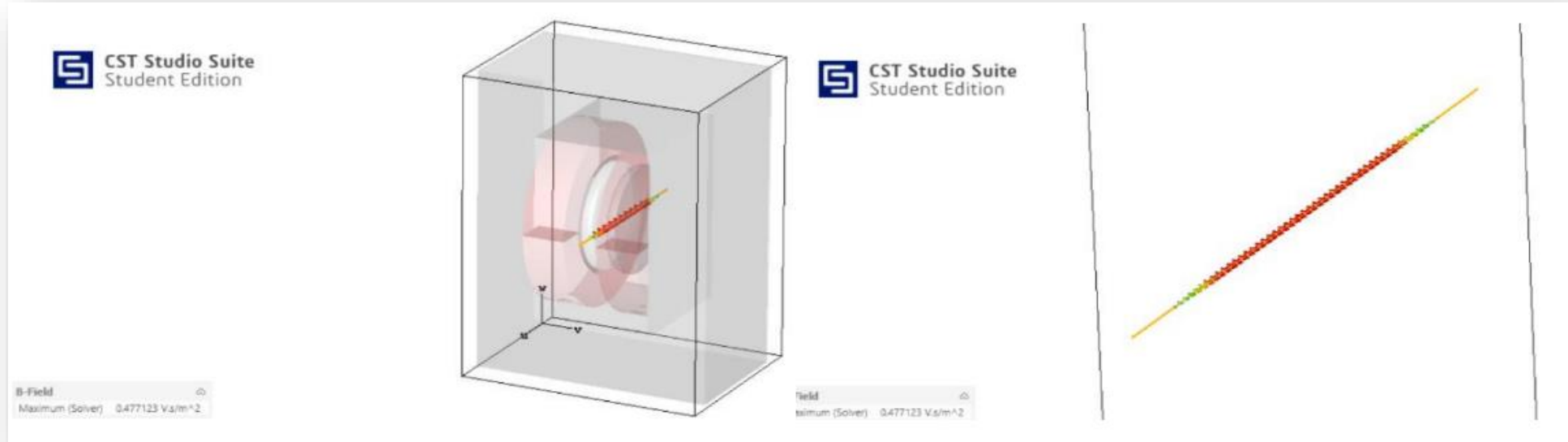
Enter how many mm do you want to make a measurment for Z edge
25
```



Manyetik Alan Ölçümleri

İlk Test: Merkezi Alanda Z Eksenini

İlk test olarak, magnetin bobinlerine 5 Amper değerinde akım uygulanarak, T.I.M.A.R. ile birlikte magnetin merkezi noktasında z-ekseni boyunca ölçümler yapıldı ve toplanan veriler anlamlı grafik temsillerine dönüştürüldü. Bu testi gerçekleştirmek için robot kol tam olarak magnetin merkezine yerleştirildi ve Z-ekseni boyunca 1 mm aralıklarla ölçümler gerçekleştirildi.



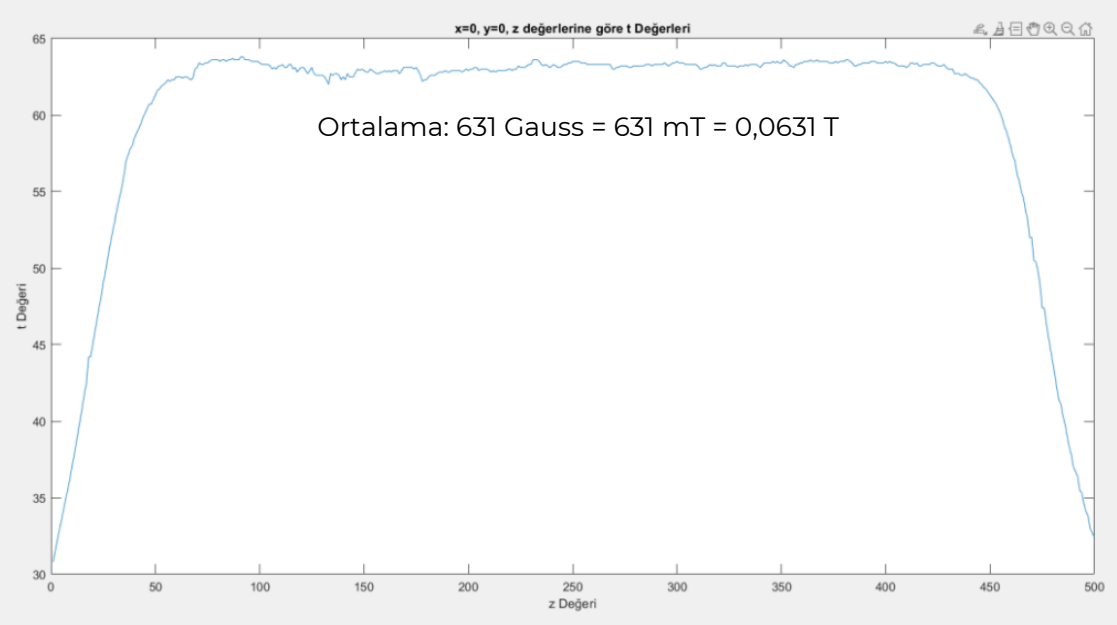
Ölçüm alanının CST Studio benzetim şeması

Manyetik Alan Ölçümleri

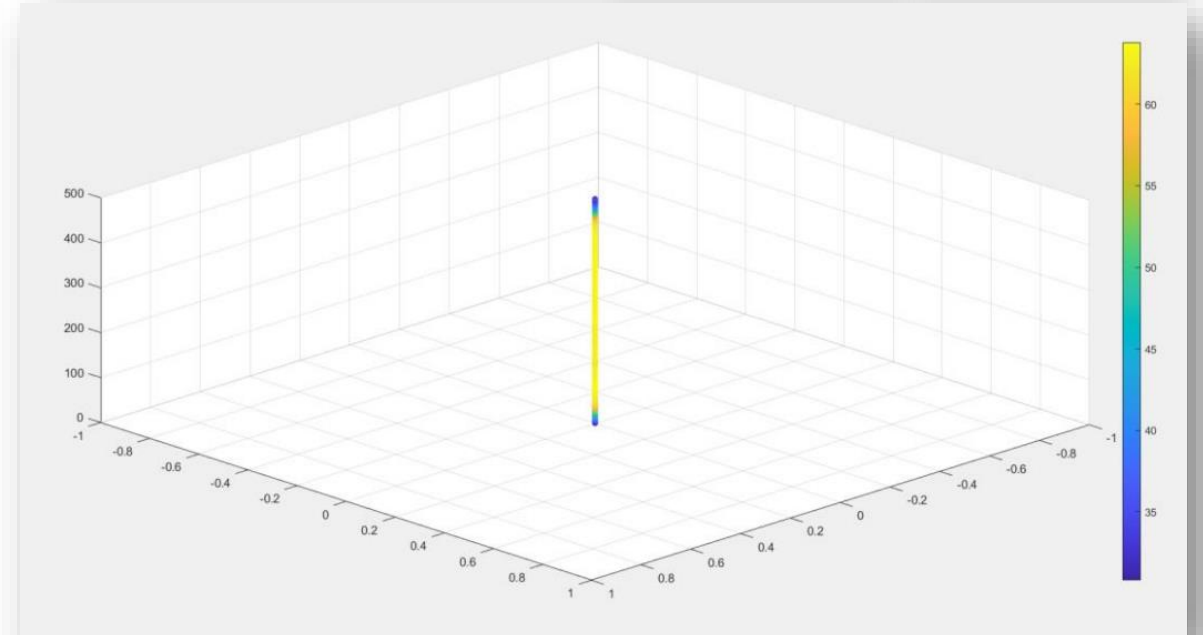
İlk Test: Merkezi Alanda Z Eksenini

Magnetin bobinlerine $I = 5$ Amper akım değeri uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları.

Tarih	Zaman	Manyetik Alan (Gauss)	Zaman	X	Y	Z
8.06.2023	16:15:04	633	16:15:04	0	0	291
8.06.2023	16:15:05	633	16:15:09	0	0	292
8.06.2023	16:15:06	633	16:15:13	0	0	293
8.06.2023	16:15:07	633	16:15:18	0	0	294
8.06.2023	16:15:08	633	16:15:22	0	0	295
8.06.2023	16:15:09	633	16:15:27	0	0	296
8.06.2023	16:15:10	633	16:15:31	0	0	297
8.06.2023	16:15:11	633	16:15:36	0	0	298
8.06.2023	16:15:12	633	16:15:40	0	0	299
8.06.2023	16:15:13	633	16:15:45	0	0	300
8.06.2023	16:15:14	633	16:15:49	0	0	301
8.06.2023	16:15:15	634	16:15:54	0	0	302
8.06.2023	16:15:16	634	16:15:58	0	0	303
8.06.2023	16:15:17	634	16:16:03	0	0	304
8.06.2023	16:15:18	634	16:16:07	0	0	305
8.06.2023	16:15:20	634	16:16:12	0	0	306
8.06.2023	16:15:21	633	16:16:16	0	0	307
8.06.2023	16:15:22	633	16:16:21	0	0	308
8.06.2023	16:15:23	633	16:16:25	0	0	309
8.06.2023	16:15:24	633	16:16:30	0	0	310
8.06.2023	16:15:25	632	16:16:34	0	0	311
8.06.2023	16:15:26	632	16:16:39	0	0	312
8.06.2023	16:15:27	632	16:16:44	0	0	313
8.06.2023	16:15:28	633	16:16:48	0	0	314
8.06.2023	16:15:29	633	16:16:53	0	0	315
8.06.2023	16:15:30	633	16:16:57	0	0	316
8.06.2023	16:15:31	633	16:17:02	0	0	317
8.06.2023	16:15:32	633	16:17:06	0	0	318



Gaussmetre verilerinin 2D MATLAB grafiği

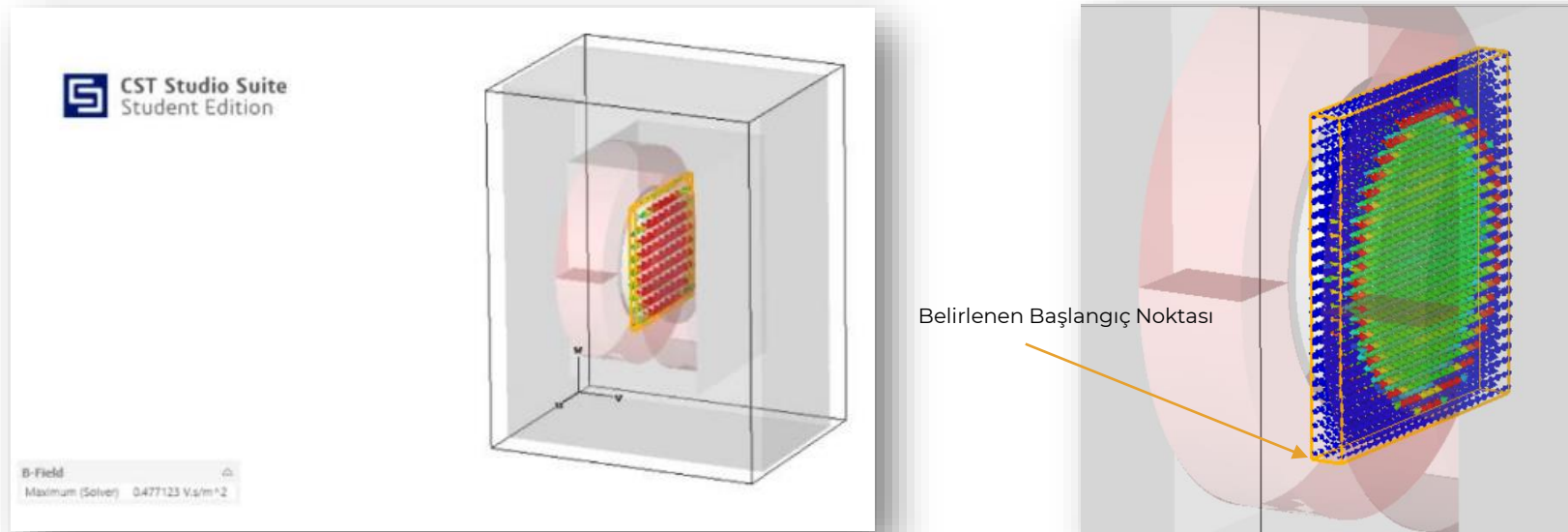


Gaussmetre verilerinin 3D MATLAB grafiği

Manyetik Alan Ölçümleri

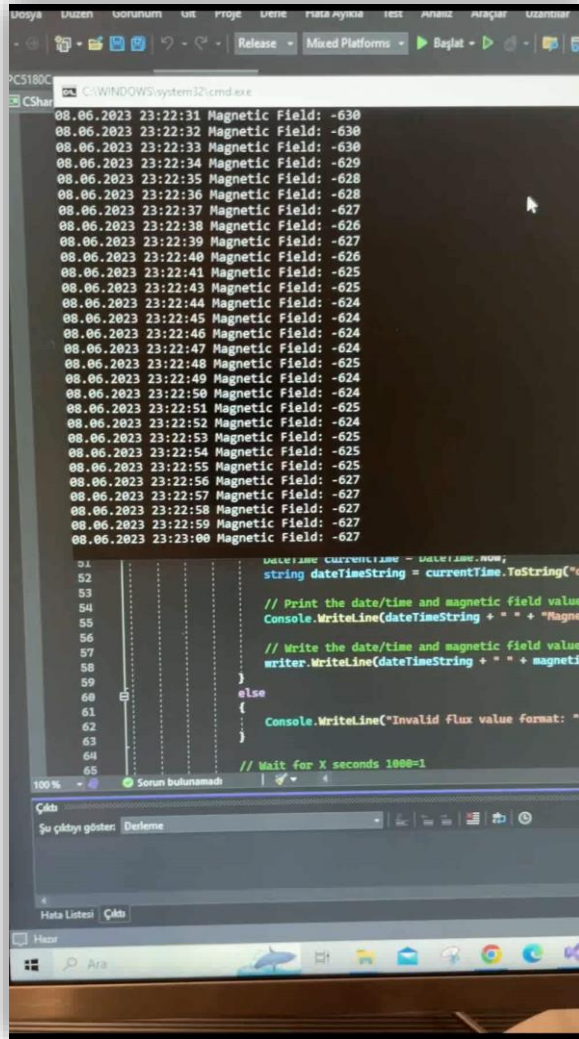
İkinci Test: Tam Tarama

İkinci test için belirli bir alanda önceden belirlenmiş aralıklarda ölçümler gerçekleştirildi ve toplanan veriler anlamlı grafik temsillerine dönüştürüldü. Bu amaçla, robot kolunun tarama alanını $(x, y, z) = (20, 450, 475)$ mm olarak ayarlandı ve tarama aralıkları $(x, y, z) = (5, 75, 25)$ mm olarak belirlendi. Bu testte de yine 5 Amper değerinde akım uygulanarak ölçümler alındı.



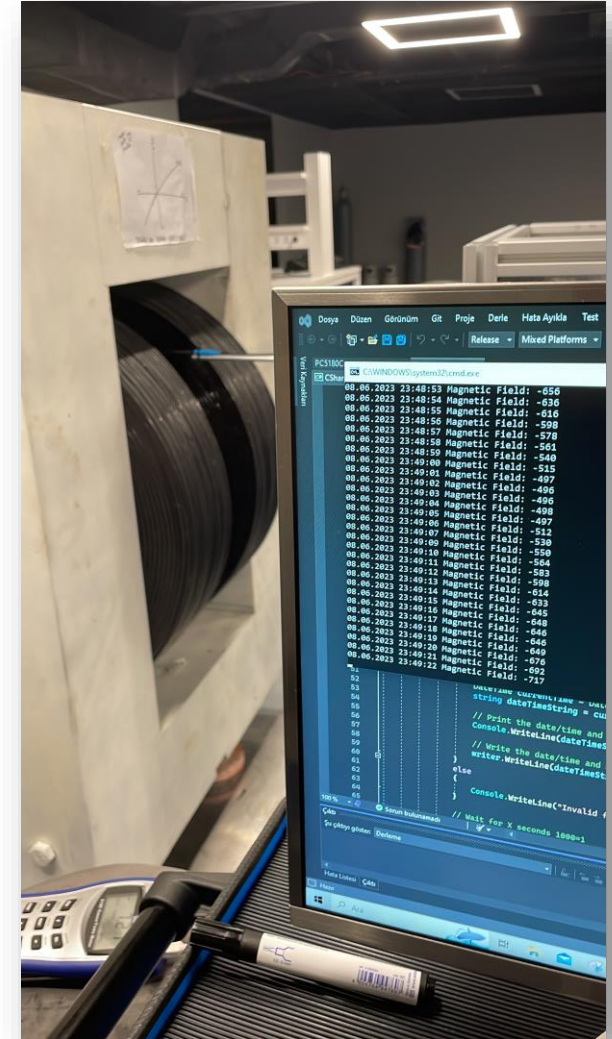
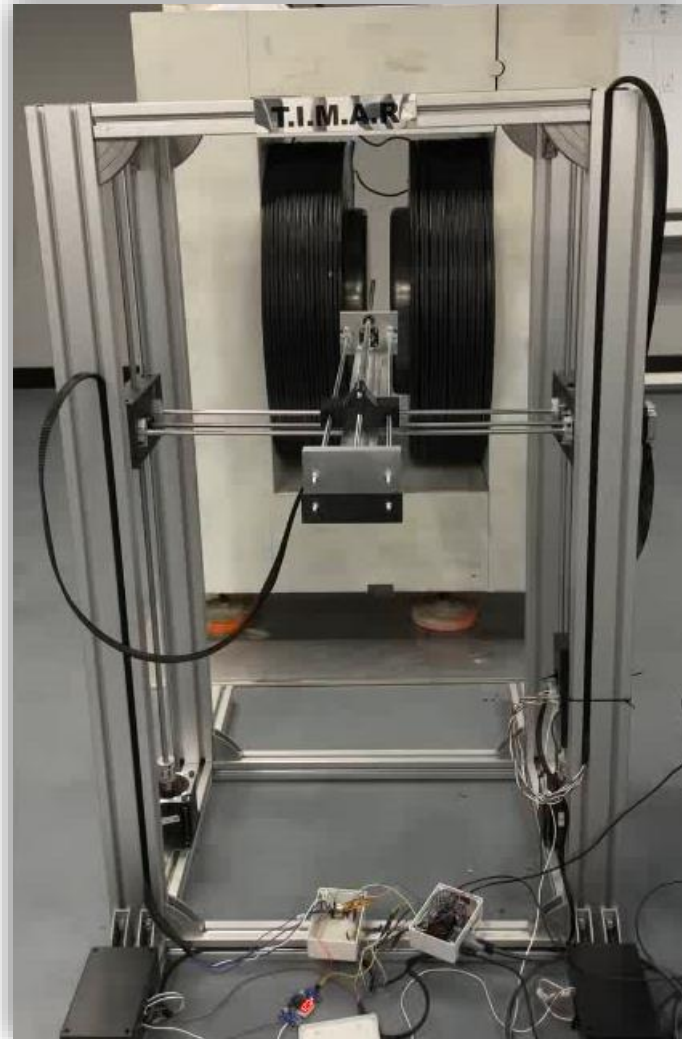
Ölçüm alanının CST Studio benzetim şeması

İkinci Test: Tam Tarama



```
08.06.2023 23:22:31 Magnetic Field: -630
08.06.2023 23:22:32 Magnetic Field: -630
08.06.2023 23:22:33 Magnetic Field: -630
08.06.2023 23:22:34 Magnetic Field: -629
08.06.2023 23:22:35 Magnetic Field: -628
08.06.2023 23:22:36 Magnetic Field: -628
08.06.2023 23:22:37 Magnetic Field: -627
08.06.2023 23:22:38 Magnetic Field: -626
08.06.2023 23:22:39 Magnetic Field: -627
08.06.2023 23:22:40 Magnetic Field: -626
08.06.2023 23:22:41 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:43 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:44 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:45 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:46 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:47 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:48 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:49 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:50 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:51 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:52 Magnetic Field: -624
08.06.2023 23:22:53 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:54 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:55 Magnetic Field: -625
08.06.2023 23:22:56 Magnetic Field: -627
08.06.2023 23:22:57 Magnetic Field: -627
08.06.2023 23:22:58 Magnetic Field: -627
08.06.2023 23:22:59 Magnetic Field: -627
08.06.2023 23:23:00 Magnetic Field: -627
```

```
51
52 string dateTimeString = currentTime.ToString("dd.MM.yyyy HH:mm:ss");
53 // Print the date/time and magnetic field value
54 Console.WriteLine(dateTimeString + " * * * * *Magnet
55
56 // Write the date/time and magnetic field value
57 writer.WriteLine(dateTimeString + " * * * * *magnet
58
59 }
60 else
61 {
62 Console.WriteLine("Invalid Flux value format: "
63
64 // Wait for X seconds 1000=1
65
```

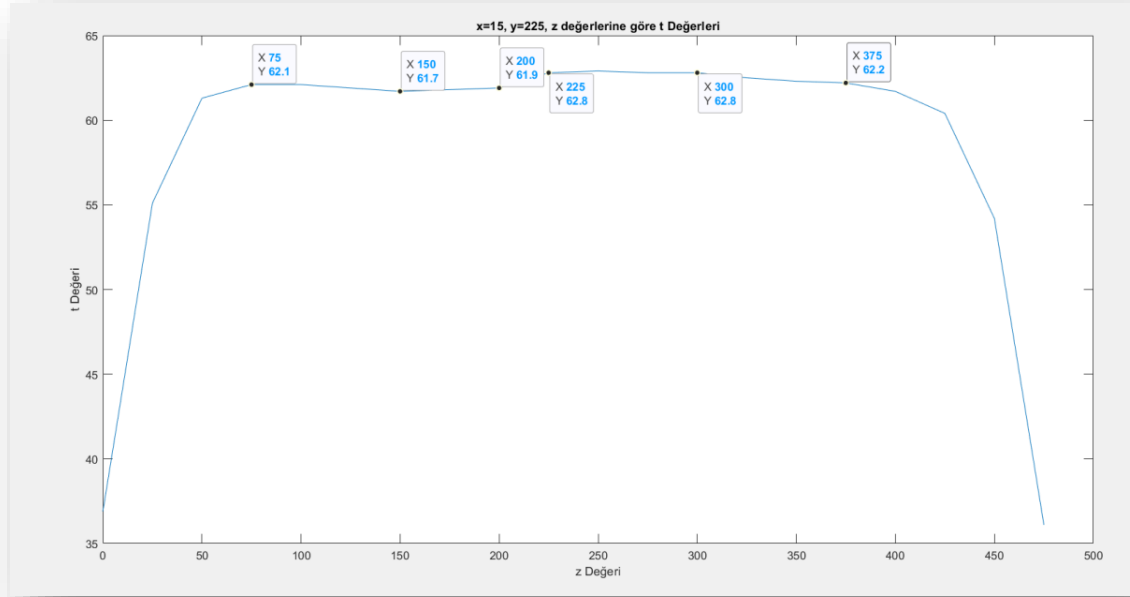
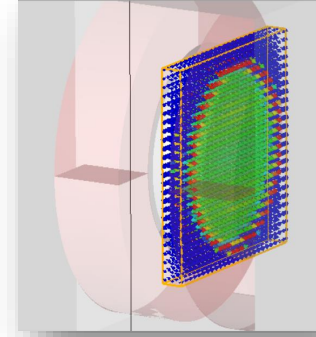


Manyetik Alan Ölçümleri

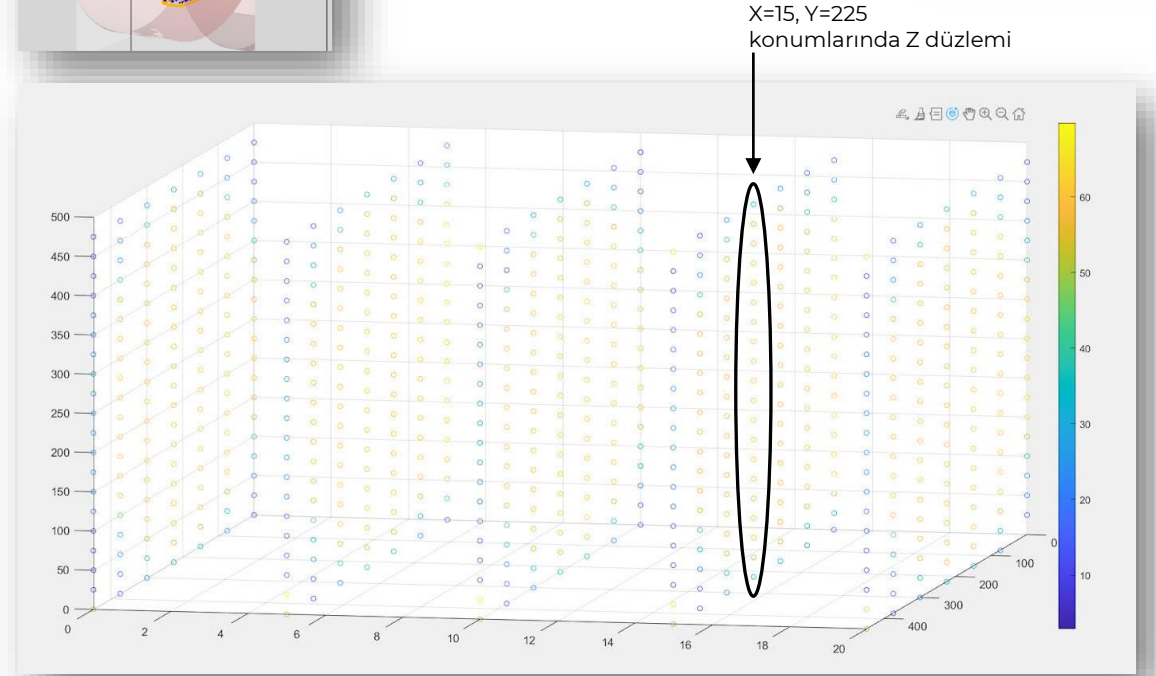
İkinci Test: Tam Tarama

Magnetin bobinlerine I = 5 Amper akım değeri uygulanarak yapılan ölçüm sonuçları.

Tarih	Zaman	Manyetik Alan (Gauss)	Zaman	X	Y	Z
9.06.2023	01:19:00	361	01:19:00	15	225	475
9.06.2023	01:19:01	361	01:19:13	15	225	450
9.06.2023	01:19:02	361	01:19:26	15	225	425
9.06.2023	01:19:03	377	01:19:39	15	225	400
9.06.2023	01:19:04	398	01:19:52	15	225	375
9.06.2023	01:19:05	427	01:20:05	15	225	350
9.06.2023	01:19:07	450	01:20:19	15	225	325
9.06.2023	01:19:08	472	01:20:32	15	225	300
9.06.2023	01:19:09	492	01:20:45	15	225	275
9.06.2023	01:19:10	512	01:20:58	15	225	250
9.06.2023	01:19:11	528	01:21:12	15	225	225
9.06.2023	01:19:12	542	01:21:25	15	225	200
9.06.2023	01:19:13	542	01:21:38	15	225	175
9.06.2023	01:19:14	544	01:21:52	15	225	150
9.06.2023	01:19:15	544	01:22:05	15	225	125
9.06.2023	01:19:16	544	01:22:18	15	225	100
9.06.2023	01:19:17	563	01:22:32	15	225	75
9.06.2023	01:19:18	574	01:22:45	15	225	50
9.06.2023	01:19:19	583	01:22:58	15	225	25
9.06.2023	01:19:20	588	01:23:11	15	225	0
9.06.2023	01:19:21	594				

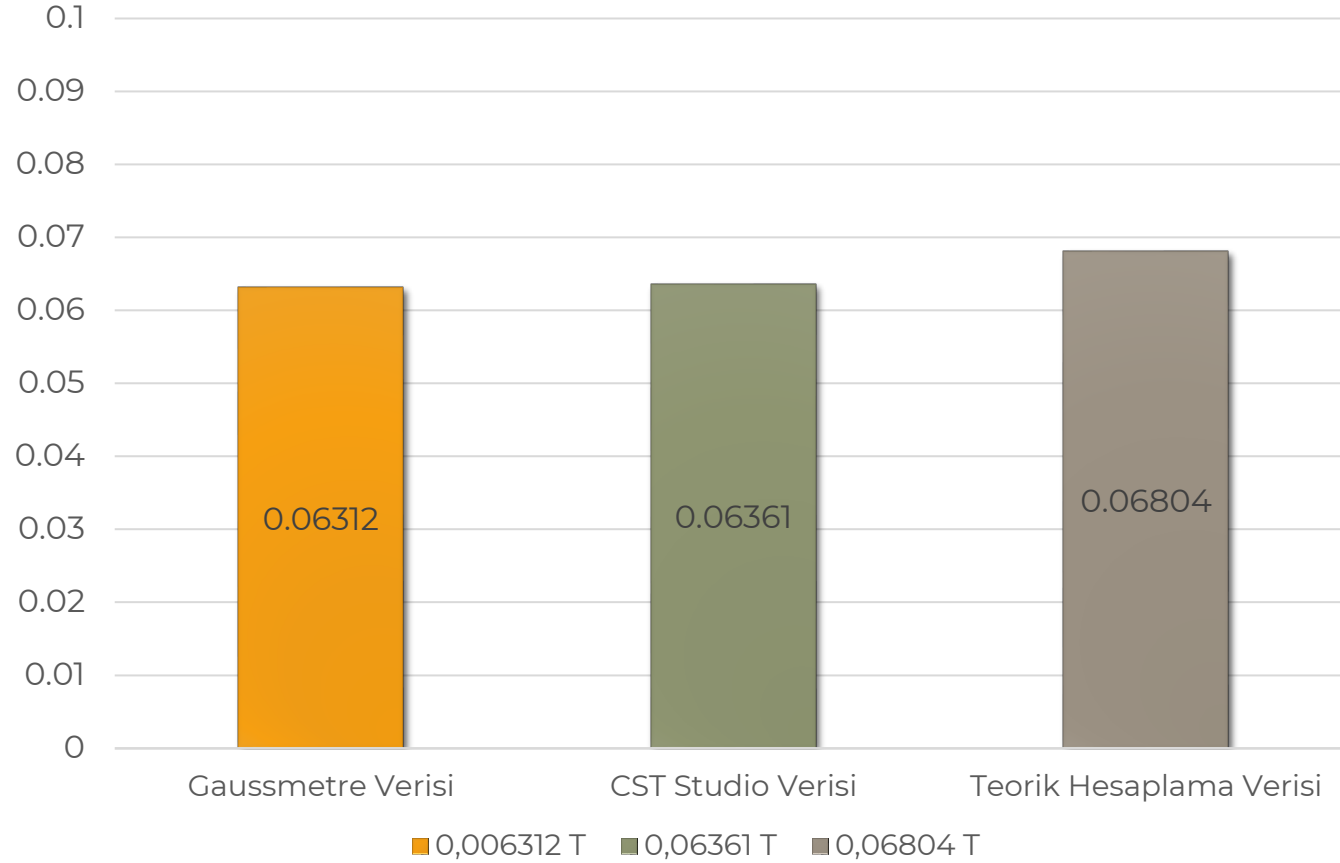


Gaussmetre verilerinin 2D MATLAB grafiği



Gaussmetre verilerinin 3D MATLAB grafiği

Verilerin Karşılaştırılması



H-Magnetin merkezi noktası esas alınarak 5 Amper akım değerinde elde edilen; T.I.M.A.R. ölçüm verisi, CST Studio benzetim programının verisi ve teorik hesaplama verisinin karşılaştırma tablosu

Sonuçlandırma

Sonuç olarak; T.I.M.A.R. robotik kol ile 1 MeV siklotron için tasarlanmış olan H-Magnette yapılan manyetik alan ölçümleri, teorik hesaplamalar ve benzetimler karşılaştırılarak istenilen manyetik alan değeri ve sabitliği ortaya konmuştur. Sonuçlar arasında oluşan farklılıkların sebepleri araştırılmış, H-Magnetin manyetik alan sonuçlarının tutarlılığı değerlendirilmiş ve robotik kolun üretim amacına uygunluğu ispatlanmıştır.

Bir ürün prototipi olarak ortaya çıkarmış olduğumuz bu robotik kol lisans bitirme tezi ve TÜBİTAK 2209-A projesi kapsamında yürütülmüştür. Bu proje sonucunda üretilmiş olan robotik kolun, ihtiyaç duyulabilecek çalışmalarda/projelerde talep edilmesi durumunda kullanılarak, hızlandırıcı ve demet optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalara katkıda bulunması hedeflenmiştir.

TEŞEKKÜRLER

Tuğrul Göl
Hilal Koç
Atabek Batuhan Bilgiç
Efe Bulut
Ahmet Affan Köksal
Beyda Saray
Zeynep Arslan
Kerem Akçakaya